

비정형 건축물 전이슬래브의 PT 전산해석 및 설계

Post-Tension Analysis and Design of Transfer Slab in Irregular Building Structure



윤 장 근*



방 중 석**



이 세 현***

* 대림산업(주) 건축연구지원팀 과장
 ** 대림산업(주) 건축연구지원팀 팀장
 *** 대림산업(주) NEST 호텔 현장 소장

1. 서 론

건축물의 형상이 입면 차별화 및 내부 공간 활용의 유연성 확보 등의 이유로 점차 비정형화되어 감에 따라 상하층 수직부재의 위치가 어긋나는 설계가 빈번히 도입되고 있다. 이러한 상하층 간의 구조형식이 변화하는 층에는 응력의 흐름이 연속되지 못하여 전이슬래브 또는 전이거더를 두게 되는데, 상부 벽체가 하부 기둥으로 연결되는 벽-기둥 전이층을 비롯하여 상부와 하부 벽체 라인이 일치하지 않는 벽-벽 전이층이 최근 건축 설계에서 도입되고 있다. 특히 호텔 건축물 설계에서는 저층부에 연회실과 같은 대공간을 형성해야 하고 고층부 객실은 벽식 구조로 설계하는 것이 유리하기 때문에 이러한 전이층의 도입은 불가피한 실정이다.

본 기사에서는 전이슬래브에 포스트텐션 공법을 도입한 NEST 호텔 현장(그림 1)을 대상으로 PT 전이슬래브의 구조해석 및 설계시 특이사항에 대해 소개하고자 한다.

2. PT 구조해석 프로그램

포스트텐션 구조해석 프로그램으로는 해외에서 개발된 RAM Concept, PT-DATA, SAFE, ADAPT-Builder 등이 있

다. 본 사례에서는 이 중 국내에서 가장 많이 사용되고 있는 ADAPT-Builder를 사용하여 PT 전산해석 및 설계를 수행하였다. 특히 Builder 2012 버전부터 제공되는 다층 구조물의 PT 해석 기능을 활용하여 2개층이 전이되는 비정형 캔틸레버 전이슬래브의 장기처짐과 응력을 분석하였다.

3. 프로젝트 소개

대상 프로젝트는 대림산업에서 시공 중인 NEST 호텔 현장이다(표 1). 건물의 구조형식은 지상 4층의 벽-기둥 전이슬래브와 지상 8층의 벽-벽 전이슬래브가 도입된 2개층 전이구조이다. 건물의 외관은 지상 4층에서 4.2m, 지상 8층에서 3.75m 만큼 캔틸레버로 전이슬래브가 돌출되는 것을 특징으로 한다. 지상 4층 PT 전이슬래브 두께는 1,200mm로 전체 바닥에 포스트텐션을 도입하였고, 지상 8층 PT 전이슬래브 두께는 800mm로 캔틸레버 구간에만 포스트텐션을 도입하였다. 콘크리트 강도는 외관이 노출 콘크리트인 관계로 35MPa를 전층에 적용하였다.

4. PT 구조해석 모델링

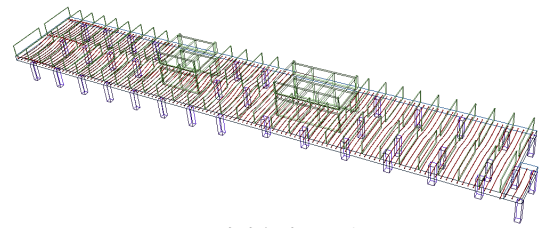
비정형 캔틸레버 전이슬래브의 PT 전산해석을 위해 ADAPT-



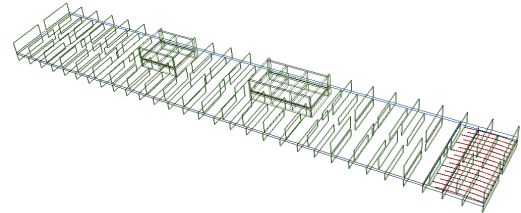
그림 1 NEST 호텔 조감도

표 1 건물 개요

| | |
|-----|-------------------------|
| 현장명 | NEST 호텔 |
| 설계사 | JOH & 건원 |
| 시공사 | (주)대림산업 |
| 용도 | 호텔 (숙박시설) |
| 규모 | 지하 1층 ~ 지상 11층 |
| 구조 | 포스트텐션 전이슬래브 프리캐스트 벽체 |
| 외관 | 노출 콘크리트 + 커튼월 |



(a) 전이슬래브 (4층)



(b) 전이슬래브 (8층)

그림 3 전이슬래브 텐던 모델링

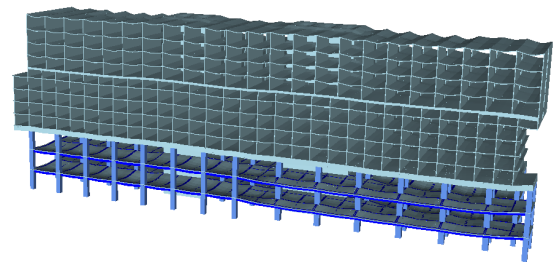


그림 4 ADAPT 해석결과 변형도

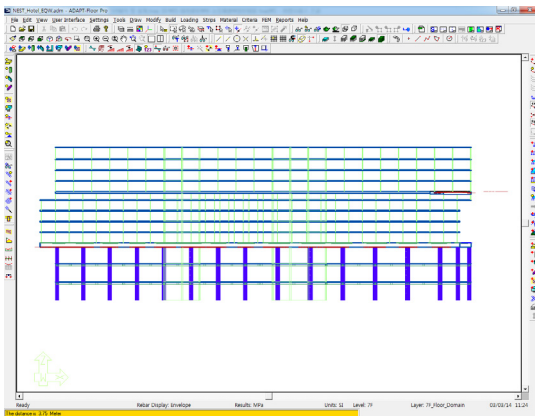


그림 2 ADAPT-Builder 모델링

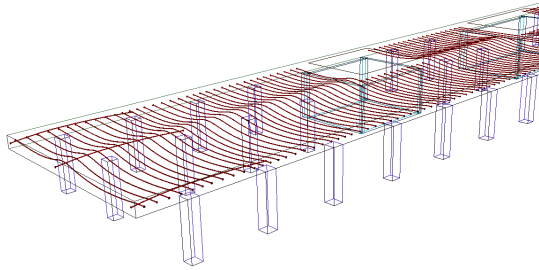
Builder로 해석 모델을 작성하였다(그림 2). 본 해석에서는 기존에 PT 슬래브가 적용된 한 개층만 모델링하는 방법과 달리 전체 층을 모델링하고 PT 전이슬래브가 도입되는 4층, 8층에 텐던을 입력하는 방법을 사용하였다(그림 3). 4층 전이슬래브는 상부 벽체가 하부 기둥으로 전이되는 구조로 15.2mm 직경의 비부착 텐던을 단변방향으로 분산배치하고 장변방향 캔틸레버 구간에만 집중배치하는 방법을 사용하였다(그림 5). 반면 8층 전이슬래브는 상부 벽체와 하부 벽체 라인이 어긋나는 범위가 크지 않기 때문에 우측

캔틸레버 구간에만 텐던을 분산배치하는 방법을 사용하였다(그림 6).

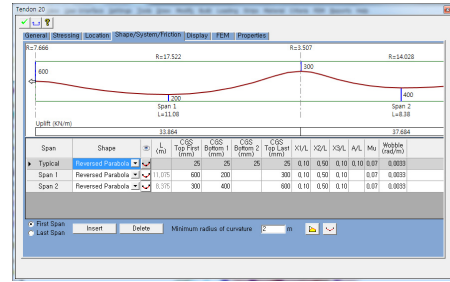
ADAPT 해석결과로부터 전체 건축물의 변형 형상을 살펴보면 4층과 8층에서 캔틸레버로 돌출된 전이슬래브 끝단에서 처짐이 많이 발생하는 것을 볼 수 있다(그림 4). 또한 4층 전이슬래브 우측 구간에서는 8층에서 전이되는 벽체 라인이 어긋남에 따라 벽체 집중하중이 전이슬래브의 수직 변형을 증가시키는 것을 볼 수 있다.

5. 캔틸레버 전이슬래브의 처짐 제어

본 설계에서는 캔틸레버 전이슬래브에 발생하는 과도한 변형을 제어하기 위해서 포스트텐션을 전이슬래브에 도입하였다. 포스트텐션 전이슬래브의 장기처짐 제어 효과를 분석하기 위해 그림 7~8과 같이 RC 전이슬래브와 PT 전이슬래브의 장기처짐을 비교하였으며 분석결과는 다음과 같다. 4층 전이슬래브에서는 캔틸레버 구간에 집중배치된 텐던이 장기처짐을 25% 감소시켰고, 8층 전이슬래브에서는 분산배치된 텐던이 장기처짐을 37% 감소시켰다. 두 개층 모두 RC 전이슬래브로는 캔틸레버 구간에서의 장기처짐을

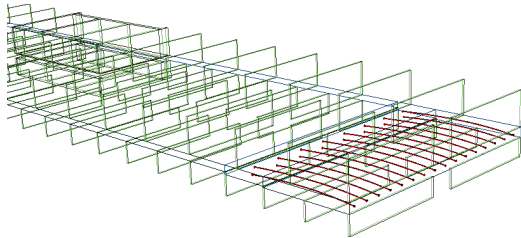


(a) 텐던 3D 뷰

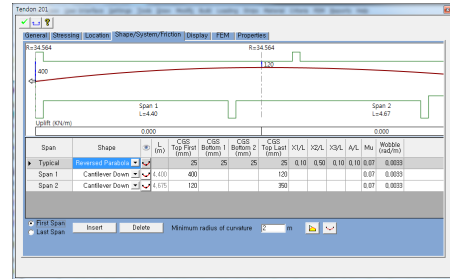


(b) 분산배치 텐던 프로파일

그림 5 전이슬래브 텐던 속성(4층)



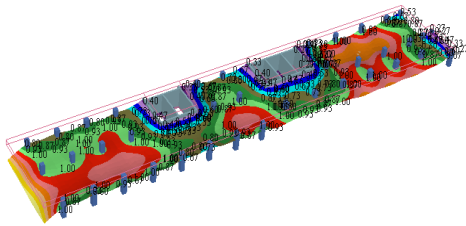
(a) 텐던 3D 뷰



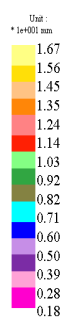
(b) 분산배치 텐던 프로파일

그림 6 전이슬래브 텐던 속성(8층)

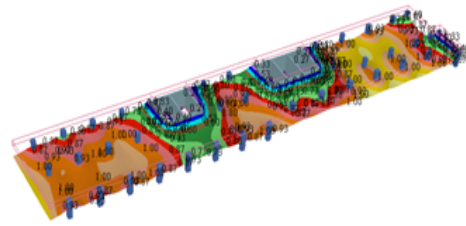
uncracked_Long_Term_RC:Z:Translation[1 Contour = 0.994 mm]; Unit[for contour only]: * 1e+001 mm;
Maximum Value = 1.658e+001 [mm] @ [0.000 6.301 15.300]m;
Minimum Value = 1.756e+000 [mm] @ [79.200 19.450 10.200]m;



(a) RC 전이슬래브($\delta=16.7\text{mm}$)



uncracked_Long_Term_PT:Z:Translation[1 Contour = 0.719 mm]; Unit[for contour only]: * 1e+001 mm;
Maximum Value = 1.257e+001 [mm] @ [0.000 6.301 15.300]m;
Minimum Value = 1.791e+000 [mm] @ [79.200 19.450 10.200]m;

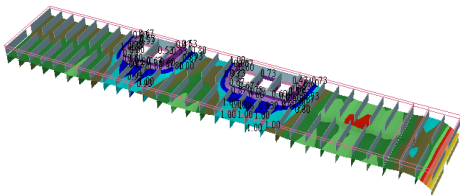


(b) PT 전이슬래브($\delta=12.6\text{mm}$)

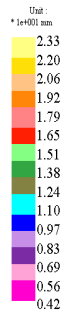


그림 7 전이슬래브 장기처짐(4층)

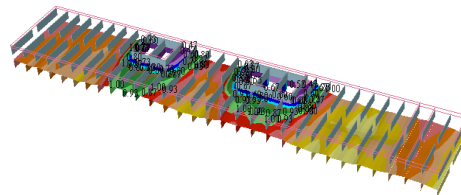
uncracked_Long_Term_RC:Z:Translation[1 Contour = 1.276 mm]; Unit[for contour only]: * 1e+001 mm;
Maximum Value = 2.332e+001 [mm] @ [0.000 6.301 15.300]m;
Minimum Value = 4.190e+000 [mm] @ [79.200 19.450 27.900]m;



(a) RC 전이슬래브 ($\delta=23.3\text{mm}$)



uncracked_Long_Term_PT:Z:Translation[1 Contour = 0.693 mm]; Unit[for contour only]: * 1e+001 mm;
Maximum Value = 1.460e+001 [mm] @ [0.000 6.301 15.300]m;
Minimum Value = 4.199e+000 [mm] @ [79.200 19.450 27.900]m;



(b) PT 전이슬래브 ($\delta=14.6\text{mm}$)

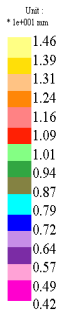
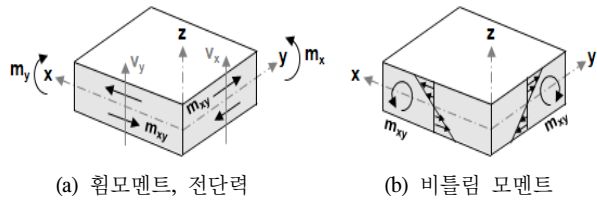


그림 8 전이슬래브 장기처짐(8층)

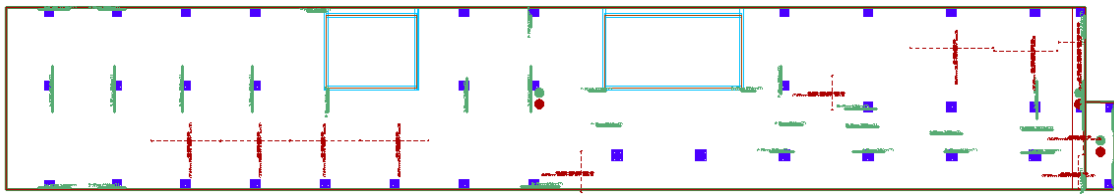


(a) 휨모멘트, 전단력 (b) 비틀림 모멘트
그림 9 판요소의 응력전달 메커니즘

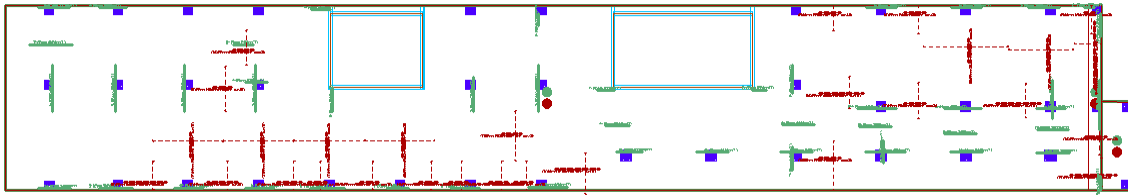
허용범위(L/240) 이내로 만족시키기 어려운 상황이다. 따라서 본 설계에서 전이슬래브에 도입한 포스트텐션 구조는 철근량 및 슬래브 두께 절감에도 긍정적인 영향을 주지만 변형에 대한 안정성 확보 측면에서 매우 유리한 방법이다.

6. 비틀림을 고려한 휨설계

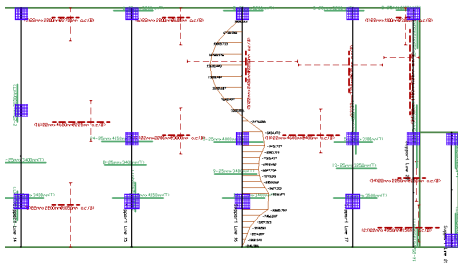
본 설계에서는 두꺼운 판요소에 해당하는 전이슬래브의 휨배근 설계시 비틀림 모멘트에 의한 부가응력을 고려하기 위해 R.H. Wood(1968)에 의해 제안된 Wood-Armer 공식²⁾을 사용하였다. Wood-Armer 공식은 판요소의 휨모멘트와 비틀림 모멘트를 직교하는 X, Y 방향의 설계 모멘트로 변환하는 공식으로 두꺼운 판요소 설계시 반드시 고려되어야 한다. 판요소의 임의 점에서의 휨모멘트(m_x , m_y)와 비틀림 모멘트(m_{xy})를 직교하는 X, Y 방향의 설계모멘트(m_{ux} , m_{uy})로 변환하는 공식은 아래 식으로 구해진다.



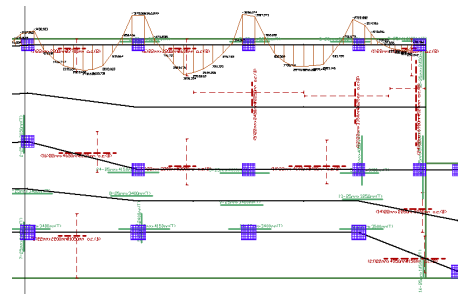
(a) 휨배근 설계



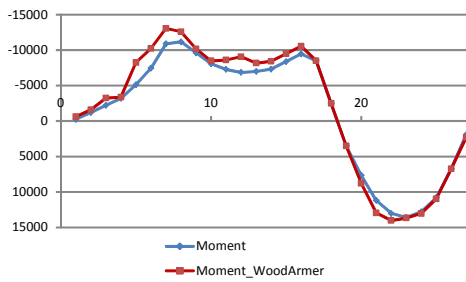
(b) 휨배근 설계(비틀림 모멘트 고려)



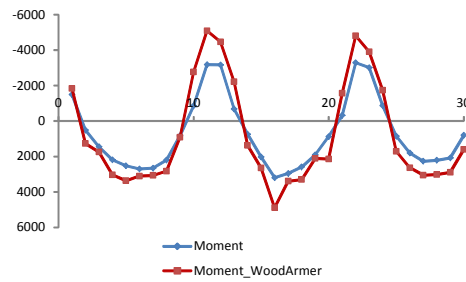
(c) 단변방향 모멘트 (주열대 16)



(d) 장변방향 모멘트 (주열대 21)



(e) 단변방향 비틀림 모멘트 증가효과



(f) 장변방향 비틀림 모멘트 증가효과

그림 10 전이슬래브 휨배근 설계(4층)

[Wood-Armer 공식]²⁾

▶ 하부철근

$$m_{ux} = m_x + |m_{xy}|$$

$$m_{uy} = m_y + |m_{xy}|$$

$$\text{If } m_{ux} < 0 \rightarrow m_{ux} = 0$$

$$m_{uy} = m_y + |m_{xy}^2/m_x|$$

$$\text{If } m_{uy} < 0 \rightarrow m_{uy} = 0$$

$$m_{ux} = m_x + |m_{xy}^2/m_y|$$

▶ 상부철근

$$m_{ux} = m_x - |m_{xy}|$$

$$m_{uy} = m_y - |m_{xy}|$$

$$\text{If } m_{ux} > 0 \rightarrow m_{ux} = 0$$

$$m_{uy} = m_y - |m_{xy}^2/m_x|$$

$$\text{If } m_{uy} > 0 \rightarrow m_{uy} = 0$$

$$m_{ux} = m_x - |m_{xy}^2/m_y|$$

4층 전이슬래브에 대해 휨배근 설계를 수행한 결과, 비틀림 모멘트를 고려한 경우가 고려하지 않은 경우 보다 하부 철근량이 다소 증가하는 것으로 나타났다(그림 10(a), (b)). 특히 단변방향에 비해 장변방향의 최외곽 모서리 부

분(주열대 21)에서 비틀림 모멘트가 증가하여 하부철근 보강이 필요한 것으로 검토되었다(그림 10(e), (f)).

7. 결 론

본 사례는 캔틸레버로 돌출된 전이슬래브에 PT 구조를 도입하여 RC 구조로는 해결하기 힘든 장기처짐을 허용범위 이내로 제어하고 철근량 및 슬래브 두께를 줄임으로써 공사비를 절감시킨 사례이다. PT 구조는 무량판 슬래브 또는 장스팬 거더와 같은 부재에 많이 사용되어 왔으나 매스가 큰 전이슬래브에서도 시공성, 경제성 측면에서의 장점이 크기 때문에 향후 적용범위가 확대될 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

1. 윤장근, 강수민, 김육중, “포스트텐션 전이슬래브의 구조설계 방법”, 대림기술정보지, 상반기호, 2010, pp.92-101.
2. Manual for Design and Detailings of Reinforced Concrete to Code of Practice for Structural Use of Concrete 2004, Hong Kong Housing Department.
3. 한국콘크리트학회, 콘크리트구조기준, 2012.
4. 대한건축학회, 건축구조기준 및 해설, 2009.
5. www.adaptsoft.com. 

[담당 : 강현구 편집위원]